

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO E INGENIERA CIVIL

TEMA:
CORRELACIÓN ENTRE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA Y LA
RESISTENCIA CLIMÁTICA (ABSORCIÓN DE AGUA) EN ADOQUINES DE HORMIGÓN
EN LA CIUDAD DE QUITO.

AUTORES:
BRYAN ANDRES ÁLVAREZ SORIA
SOLANGE JISSELA GUACHAMÍN HURTADO

TUTOR:
HUGO FLORENCIO TORRES MERINO

Quito, noviembre de 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Álvarez Soria Bryan Andrés y Guachamín Hurtado Solange Jissela, con documentos de identificación N° 1723088702 y N° 2200115828, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: **CORRELACIÓN ENTRE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA Y LA RESISTENCIA CLIMÁTICA (ABSORCIÓN DE AGUA) EN ADOQUINES DE HORMIGÓN EN LA CIUDAD DE QUITO.**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, noviembre de 2020



Álvarez Soria Bryan Andrés
C.I.: 1723088702



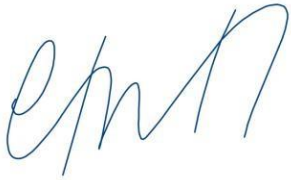
Guachamín Hurtado Solange Jissela
C.I.: 2200115828

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, con el tema:

CORRELACIÓN ENTRE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA Y LA RESISTENCIA CLIMÁTICA (ABSORCIÓN DE AGUA) EN ADOQUINES DE HORMIGÓN EN LA CIUDAD DE QUITO., realizado por Álvarez Soria Bryan Andrés con C.I.:1723088702 y Guachamín Hurtado Solange Jissela con C.I.: 2200115828 , obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, noviembre de 2020



Torres Merino Hugo Florencio C.I.:

1714771977

CORRELACIÓN ENTRE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA Y LA RESISTENCIA CLIMÁTICA (ABSORCIÓN DE AGUA) EN ADOQUINES DE HORMIGÓN EN LA CIUDAD DE QUITO.

CORRELATION BETWEEN INDIRECT TENSILE STRENGTH RESISTANCE AND WEATHER RESISTANCE (WATER ABSORPTION) ON CONCRETE PAVERS IN THE CITY OF QUITO.

Bryan Álvarez Soria¹, Solange Guachamín Hurtado², Hugo Torres Merino³

Resumen

Los adoquines de hormigón en el Ecuador, principalmente en la Ciudad de Quito se enfoca a la Resistencia a la Compresión debido a que normativas describen que se cumpla únicamente con esta propiedad y de igual manera Normas Europeas y Latinoamericanas; ya que en ciertos casos no mencionan otras propiedades, dejando de lado a propiedades como: El Desgaste, Resistencia a la Tracción Indirecta, Resistencia Climática (Absorción de agua).

La Norma INEN 3040 (2016 vigente), describe que se cumpla con las propiedades anteriormente descritas, y así encontrar un factor de relación entre la Resistencia a la Tracción Indirecta y la Resistencia Climática que determine si existe o no una correlación, para así establecer si los valores sugeridos por la norma son adecuados para ser catalogado como un adoquín óptimo y se pueda emplear en un proyecto de obra vial.

El número de fábricas existentes en el presente son 49 fábricas en la Ciudad de Quito, mediante un análisis estadístico se determinó una muestra de 38 fábricas. En los ensayos en laboratorio se obtuvo resultados y se analizaron mediante procesos estadísticos, en la cual influye principalmente el factor de correlación r y la decisión de una prueba de hipótesis, y se llega a concluir que existe una relación alta negativa, por lo tanto, estas deben ser requeridas de manera indispensable en todo tipo de proyectos o estudios viales.

Palabras claves: Adoquines de Hormigón, Ensayos de laboratorio, Norma, Resistencia Climática, Tracción Indirecta.

Abstract

A Jointed paving, the common concrete paving method employed in Ecuador, mainly in the city of Quito, largely focuses on pressure resistance. The reasoning behind this approach is the rules and regulations that exist at the latin American and European level. These rules and regulations establish that a proper analysis of pressure resistance is imperative, other regulations include consideration to road wear, indirect tensile strength resistance and weather resistance (water absorption).

The INEN 3040 regulations (2016) compliance to the aforementioned regulations is a requirement. For this reason it becomes crucial to find a linking element or elements between Indirect Tensile Strength Resistance and Weather Resistance to then determine whether a correlation exists or not. Later, these findings will assist in deciding the adequacy of the required and suggested figures to determine what qualifies as adequate paving and to properly conduct a road project.

The number of factories existing at present are 49 factories in the City of Quito, data points were generated through lab testing, the data was then analyzed using statistical methods, mainly the

¹ Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil-Universidad Politécnica Salesiana-Quito, Ecuador

² Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil-Universidad Politécnica Salesiana-Quito, Ecuador

Autor para correspondencia: balvarezs@est.ups.edu.ec ; sguachaminh@est.ups.edu.ec

correlation factor r which determined results necessary for hypothesis testing. Having completed these studies and testing one can conclude that a link does exist and that the correlation is highly negative, for this reason, the regulations should be required and considered as essential for both research purposes and for developing road projects.

Keywords: Concrete Pavers, Lab Testing, Regulations, Weather Resistance, Indirect Tensile Strength.

1. Introducción

Los ensayos en adoquines de hormigón como: La Resistencia Climática y Resistencia a la tracción Indirecta son esenciales para la obtención de resultados adecuados que permita un control de calidad de pavimentos articulados, siendo esta última, poco empleado en proyectos, como lo señala el Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC), en el artículo: “Normas y Especificaciones para adoquines de concreto en Países Latinoamericanos”, menciona: *“Las normas latinoamericanas no tienen una característica propia, sino que sean muy similares a las del resto del mundo, resumida por Houben, Van Der Kreeft y Lewis y por otros, con la única salvedad de que ninguna utiliza el ensayo de Tracción Indirecta”* [1].

Las normas de: Chile, Argentina, Colombia y México que son referidas a adoquines de hormigón no emiten especificaciones acerca del ensayo a la Resistencia de Tracción Indirecta, salvo la norma Ecuatoriana INEN 3040 (2016).

El ensayo de resistencia climática o absorción de agua, tiene como finalidad determinar la cantidad de agua que pueden llegar a absorber los adoquines de hormigón cuando estos son sometidos a condiciones de sumersión especificadas, la INEN 3040 (2016), limita el porcentaje de absorción de agua a un valor igual o menor a 6%.

Por otra parte, la Resistencia a la tracción indirecta en adoquines de hormigón, consiste en aplicar la carga suave y progresivamente, de forma

que la resistencia se incremente hasta obtener la carga máxima de tracción indirecta antes de su rotura, la INEN 3040 (2016), especifica que el valor individual no debe ser menor a 2.9 MPa y la resistencia característica debe ser igual o superior a los 3.6 Mpa [2].

El Municipio de Quito según el Plan Operativo Anual (POA, 2020) indica una inversión anual del \$5.996.533,91 para infraestructura vial, de lo cual alrededor del 25% es destinado para proyectos de adoquinados en la Ciudad de Quito, de tal manera se permite destacar la importancia del presente artículo dado que entrega resultados finales de un proyecto de investigación que logra beneficiar al ámbito de la construcción específicamente a obras viales, y por ende a todos los habitantes de la Ciudad de Quito; mediante la determinación de valores límites de resistencia a la tracción indirecta y la resistencia climática (absorción de agua), así como también su grado de correlación de los adoquines en la Ciudad de Quito.

Esto permitirá colaborar a que exista un mejor seguimiento en el control de calidad y la dosificación de los materiales que componen el adoquín de hormigón en las plantas del Distrito Metropolitano de Quito.

1.1 Objetivo General

Verificar si existe una correlación entre la resistencia a la tracción indirecta y la resistencia climática (absorción del agua) en adoquines de hormigón para la pavimentación de vías en el Distrito Metropolitano de Quito.

1.2 Objetivos Específicos

Determinar la resistencia a la tracción indirecta de adoquines de hormigón de acuerdo a la norma INEN NTE 3040 vigente.

Determinar la resistencia Climática (absorción del agua) de adoquines de hormigón de acuerdo a la norma INEN NTE 3040 vigente.

Realizar un análisis estadístico que nos permita conocer si existe o no una correlación entre la Resistencia a la Tracción Indirecta y la Resistencia Climática.

2. Metodología y Materiales

2.1 Justificación

La Resistencia a la Tracción Indirecta y la Resistencia Climática se encuentran normados en la INEN 3040 (2016, vigente), pero en la entidad rectora del Ministerio de Transportes y Obras Públicas (MTOP), no especifica algún criterio sobre estos ensayos, por tanto, no se aplica convenientemente, la investigación buscará aportar con valores límites en relación al porcentaje de absorción como a la resistencia a la tracción indirecta para adoquines elaborados en la Ciudad de Quito.

En el Distrito Metropolitano de Quito existe en la actualidad entidades públicas, como es El Municipio de Quito, Concejo Provincial de Pichincha, estos organismos en ciertos casos toman como referencia técnica a la norma INEN NTE 3040 (2016). Por otra parte, para proyectos viales las entidades contratantes ponen a criterio del departamento de fiscalización los ensayos que se deberán aplicar a los adoquines para su uso correspondiente, por tanto, este trabajo se enfocará principalmente en verificar la correlación que existe entre los resultados obtenidos en los ensayos de Resistencia a la Tracción Indirecta y la Resistencia Climática, ya que en muchas ocasiones estos no son tomados en cuenta según lo que emite la norma.

Para un adecuado control es importante tener como referencia las normas que rigen en cada región, como es el caso de la norma europea UNE-EN 1338 en esta se conoce como resistencia climática en lugar de absorción de agua, especificando valores en porcentajes a los cuales se deben regir como lo indica la TABLA 1, literal a.

Para el caso de Ecuador se debe conocer los parámetros por la norma INEN 3040 (2016 vigente) la cual se basa en los requerimientos señalados en el “Procedimiento para los ensayos de recepción a la entrega de un envío” descrito en el anexo B de la norma UNE-EN 1338.

Para el caso de resistencia a la tracción indirecta la norma europea UNE-EN 1338 no considera dicho ensayo como un requisito, sin embargo, en la norma británica BS 6717 establece valores

individuales y promedios mínimos (como se indica en la TABLA 1, literal b).

Para el caso de Ecuador existe la norma NTE INEN 3040 la misma que considera como un requisito importante la aplicación de este ensayo. Siendo esta posiblemente la única en Sudamérica que emite requerimientos, por esta razón la información acerca de este ensayo es limitada.

Tabla 1. Especificación de valores de resistencia climática (absorción de agua) y resistencia a la tracción indirecta.

a) Resistencia Climática, (Absorción de agua)		
	Norma	Especificación
Europa	UNE-EN 1338.	Clase B, % de absorción de agua ≤ 6 (ADECUADA)
Latinoamérica (Ecuador)	NTE INEN 3040	% absorción de agua ≤ 6
Latinoamérica (Chile)	ICH Manual de diseño de pavimentos de adoquines de hormigón	% absorción de agua ≤ 6
Latinoamérica (Argentina)	NORMA IRAM 11656:	% absorción de agua promedio ≤ 5 , % absorción de agua individual ≤ 7
Latinoamérica (México)	NMX-C-314-ONNCCE-2014	% absorción de agua ≤ 5
Latinoamérica (Colombia)	NORMA NTC-2017	% absorción de agua promedio ≤ 7
b) Resistencia a la tracción indirecta		
	Norma	Especificación
	UNE-EN 1338.	No considera como requisito
Europa	Británica BS 6717	Valores individuales mínimo de 2.9 MPA y valores promedios mínimo 3,9 MPA
Latinoamérica (Ecuador)	NTE INEN 3040	La resistencia característica debe ser igual o superior a los 3.6 Mpa. El valor individual no debe ser menor a 2.9 MPa, ni tener una carga de tracción indirecta por unidad de longitud (F) inferior a 250 N/mm.

2.2 Población

La Recopilación de toda la información se realizó mediante la técnica de documentación (sitios web; proveedores) registrándose así un total de 49

fábricas de adoquines de hormigón en la ciudad de Quito. Distribuidos de la siguiente manera: 22 en el Norte, 9 en el Sur y 7 en el Valle.

2.3 Muestra

El tamaño de muestra con distribución normal aplicando la ecuación (1) es:

$$n = \frac{N * Z\alpha^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z\alpha^2 * p * q} \quad (1)$$

En donde:

n: Tamaño de muestra de fábricas de adoquines de hormigón en la Ciudad de Quito.

N: Tamaño de la población (Número total de fábricas de adoquines de hormigón en la Ciudad de Quito).

Za: Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza.

e: Error de estimación máximo aceptado

p: Probabilidad de que ocurra el evento

q: Probabilidad que no ocurra el evento ($q=1-p$).

Mediante un análisis estadístico y de manera aleatoria en el software Excel, se obtiene un total de 38 fábricas, divididas: 21 en el Norte, 10 en el Sur y 7 en el Valle esto para un nivel de confianza de 80% y un margen de error del 5%.

El número de adoquines se basa en lo indicado en la Norma NTE INEN 3040 (B.2 Procedimiento de Muestreo), la que señala que por cada 1000 m² según el ensayo son:

- 8 adoquines (Resistencia a la Tracción Indirecta)
- 3 Adoquines (Resistencia Climática).

Los adoquines a utilizarse se describen con las siguientes especificaciones técnicas básicas:

- Resistencia a la compresión: 350 kg/cm²
- Espesor: 8 cm
- Forma: Hexagonal
- Tipo de uso: Vehicular de tránsito pesado.

Como se especifica se necesitó en total 11 adoquines por fábrica teniendo un total de 418

adoquines, distribuidos 304 para Resistencia a la Tracción Indirecta y 114 para Resistencia Climática.

Se adquirió al azar de los adoquines en los puntos de fábrica y transportados adecuadamente para ser almacenados en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana (Campus Sur).



Figura 1. Muestreo de adoquines de hormigón.



Figura 2. Almacenamiento de los adoquines de hormigón en la Universidad Politécnica Salesiana.

2.4 Equipo y materiales

2.4.1 Ensayo de Resistencia a Tracción indirecta

- Piezas de compresión
- Adoquín
- Soportes rígidos.

La máquina de ensayo debe tener una escala con una precisión de $\pm 3\%$ sobre el rango previsto de las cargas de ensayo y estar equipada con un dispositivo compuesto de dos soportes rígidos cuya superficie de contacto tenga un radio de (75 ± 5) mm.

Las dos piezas de compresión deben ser de (15 ± 1) mm de ancho (b), con un espesor de (4 ± 1) mm (a) y, al menos, 10 mm más largo que el plano de fractura previsto [2].

2.4.2 Ensayo de Resistencia Climática

- Adoquín (no superior a 5,0 kg)
- Agua potable
- Estufa de secado ventilada
- Recipiente de base plana
- Balanza, con lectura en gramos y una precisión del 0,1% de la lectura.
- Cepillo duro
- Tela.

La estufa debe estar con una relación capacidad, expresada en litros, respecto al área de canales de ventilación, expresada en milímetros cuadrados, menor que 2 000, en la que la temperatura pueda estar controlada a (105 ± 5) °C. Debe tener un volumen de al menos 2,5 veces el volumen de las probetas que sean secadas al mismo tiempo.

El recipiente de base plana, con una capacidad de al menos 2,5 veces el volumen de las probetas a ser sumergidas y con una profundidad, al menos, 50 mm mayor que la altura de las probetas según se coloquen al ser sumergidas [2].

2.5 Metodología Aplicada

2.5.1. Ensayos de laboratorio para adoquines

Se ensayan los adoquines siguiendo el procedimiento que indica la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 3040 (2016, vigente) correspondiente a la resistencia climática (Anexo D) y existencia a la tracción indirecta (Anexo E). Estos ensayos se los ejecutó en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana, carrera de Ingeniería Civil.

2.5.2. Ensayo de resistencia a la tracción indirecta INEN 3040 – ANEXO E

El ensayo de tracción indirecta es de gran importancia, dando como resultado la resistencia que puede soportar la capa de rodadura, misma que actúa como un elemento estructural.

La carga aplicada en el ensayo simula la carga vehicular real transmitiendo esfuerzos a los

elementos que componen el pavimento. Este ensayo ayuda a precisar las propiedades de la mezcla con las que se forma el adoquín o las fallas producidas por tensiones de tracción y de esta manera evitar fallas prematuras en la vía garantizando así su desempeño óptimo.



Figura 3. Prensa hidráulica para ensayo de resistencia a tracción indirecta.

2.5.2. Ensayo de resistencia Climática (Absorción de agua) INEN 3040 – ANEXO D

Su finalidad es determinar la capacidad de absorber el agua, es decir si un adoquín de hormigón tiene una menor absorción a lo especificado en la norma INEN 3040, mayor va a ser su impermeabilidad logrando que pueda resistir a climas con temperaturas altas.

Una vez realizada la preparación de las probetas, se sumergen los adoquines en agua potable y posteriormente se seca al horno, esto se da a una temperatura de (20 ± 5) °C y (105 ± 5) °C respectivamente. El periodo mínimo de inmersión y secado debe ser de 3 días hasta alcanzar una masa constante, cuando la variación de peso, entre dos medidas consecutivas, es inferior al 0,1 % en un periodo de 24 horas, se considera que se ha logrado una masa constante [2].

El índice de absorción de agua se expresa relacionando la diferencia del peso de la probeta saturada menos el peso de la probeta seca contra el

peso de la probeta seca, expresado en porcentaje [2].



Figura 4. Adoquines sumergidos en la piscina con agua potable



Figura 5. Adoquines colocados en el horno

Nota: En el caso de no cumplir con el 0,1 % de la variación de peso se puede incrementar los días de inmersión o secado respectivamente hasta encontrar su masa constante (menor o igual al 0.1%).

3. Resultados y Discusión

A continuación, se presenta los datos obtenidos a través de los ensayos realizados en laboratorio correspondiente a Resistencia a la Tracción Indirecta y Resistencia Climática (Absorción de Agua).

En base a la INEN 3040 – Anexo E, para los adoquines de hormigón en la ciudad de Quito, se obtuvo los resultados mostrados en la TABLA 2.

Tabla 2. Datos obtenidos del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta

Código	Tracción Indirecta Promedio T_{prom} (Mpa)	Desviación estándar S (Mpa)	Resistencia Característica f_k (Mpa)
AN-003	3.128	0.103	2.958
AN-004	3.485	0.583	2.528
AN-005	2.034	0.373	1.422
AN-006	2.376	0.216	2.021
AN-007	1.500	0.303	1.003
AN-010	3.290	0.548	2.392
AN-011	3.131	0.517	2.283
AN-012	4.125	0.464	3.364
AN-013	1.487	0.246	1.083
AN-016	3.066	0.388	2.429
AN-017	2.546	0.433	1.836
AN-018	3.251	0.374	2.638
AN-019	3.270	0.684	2.149
AN-020	3.003	0.320	2.479
AN-021	1.789	0.177	1.498
AN-022	2.674	0.350	2.100
AN-023	1.436	0.353	0.857
AN-025	2.774	0.125	2.569
AN-026	3.383	0.339	2.827
AN-028	3.502	0.522	2.646
AN-029	2.589	0.448	1.854
AS-001	3.776	0.554	2.868
AS-002	2.368	0.203	2.034
AS-003	3.185	0.667	2.091
AS-004	1.571	0.471	0.797
AS-005	2.468	0.433	1.758
AS-006	3.036	0.517	2.188
AS-007	2.659	0.321	2.132
AS-008	3.469	0.705	2.313
AS-010	4.034	0.546	3.137
AS-011	1.862	0.368	1.258
AV-001	2.231	0.262	1.802
AV-002	3.427	0.670	2.328
AV-003	4.660	0.561	3.741
AV-004	2.236	0.119	2.042
AV-006	4.924	0.565	3.997
AV-008	4.176	0.568	3.245
AV-009	4.147	0.899	2.674

En base a la INEN 3040 – Anexo D, se procede a determinar el promedio del porcentaje de absorción los cuales se presentan en la TABLA 3.

Tabla I3. Datos obtenidos del ensayo de Resistencia Climática

Código	Promedio de % absorción Wa prom (%)
AN-003	7.538
AN-004	6.502
AN-005	8.235
AN-006	7.663
AN-007	8.508
AN-010	7.746
AN-011	6.876
AN-012	7.333
AN-013	8.540
AN-016	7.598
AN-017	6.984
AN-018	7.150
AN-019	7.316
AN-020	7.414
AN-021	7.995
AN-022	7.708
AN-023	9.035
AN-025	7.418
AN-026	6.287
AN-028	7.035
AN-029	7.256
AS-001	6.043
AS-002	8.672
AS-003	7.387
AS-004	9.486
AS-005	7.871
AS-006	7.915
AS-007	8.985
AS-008	7.533
AS-010	6.116
AS-011	9.353
AV-001	7.858
AV-002	6.222
AV-003	5.755
AV-004	7.660
AV-006	5.758
AV-008	6.190
AV-009	6.693

A continuación, se presenta en la TABLA 4 el cumplimiento de la resistencia a la tracción indirecta promedio, con respecto a las especificaciones técnicas que se estipula en la INEN 3040, correspondiente a las 38 fábricas en la Ciudad de Quito:

Tabla 4II. Porcentaje de cumplimiento de las fábricas en base a la INEN 3040, Resistencia a la Tracción Indirecta

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (> 2.9 Mpa)		
DESCRIPCION	Nº	%
TOTAL FABRICAS	38	100
CUMPLE	21	55
NO CUMPLE	17	45

Para la resistencia característica los resultados obtenidos son presentados en la TABLA 5.

Tabla 5. Porcentaje de cumplimiento de las fábricas en base a la INEN 3040, Resistencia Característica de la Tracción indirecta

RESISTENCIA CARACTERISTICA DE LA TRACCIÓN INDIRECTA (> 3.6 Mpa)		
DESCRIPCION	Nº	%
TOTAL FÁBRICAS	38	100
CUMPLE	2	5.3
NO CUMPLE	36	94.7

En la TABLA 6, se muestra los resultados obtenidos en cuanto al porcentaje de absorción o resistencia climática, correspondiente a las 38 fábricas en la ciudad de Quito.

Tabla 6. Porcentaje de cumplimiento de las fábricas en base a la INEN 3040, Resistencia Climática

PORCENTAJE ABSORCIÓN DE AGUA ($\leq 6\%$)		
DESCRIPCION	Nº	%
TOTAL FÁBRICAS	38	100
CUMPLE	2	5
NO CUMPLE	36	95

Este análisis nos indica que se requiere periódicamente un control de calidad de los adoquines en cada punto de fábrica ubicados en la ciudad de Quito, dando como resultado pavimentos que sean aptos para soportar las solicitaciones requeridas en el diseño y asegurar una vida útil óptima.

Los resultados obtenidos de acuerdo al ensayo a la Resistencia a la Tracción Indirecta y Resistencia Climática realizados en laboratorio son analizados estadísticamente, se obtuvo el coeficiente R^2 para regresión lineal y regresión logarítmica y así

determinar en cual existe un mayor ajuste para lograr que los resultados sean fiables, se realizó todo de la manera adecuada, cumpliendo con el equipo, materiales y el proceso especificados en la norma INEN 3040.

3.1. Regresión Lineal

Los valores del resumen de modelo y estimaciones de parámetro de una regresión lineal, teniendo como variable dependiente el porcentaje de absorción de agua (%) y como variable independiente la resistencia característica a la tracción indirecta (Mpa), obtenidos en el programa estadístico SPSS [3] se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 7. Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

Resumen modelo					Estimaciones de parámetro	
Ecuación	R ²	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1
lineal	,676	1	36	,000	9,861	-1,067

La variable independiente es Resistencia Característica a la Tracción Indirecta (Mpa).

La figura 6, representa la tendencia lineal de las variables: Porcentaje de absorción de agua y la resistencia característica de tracción indirecta.

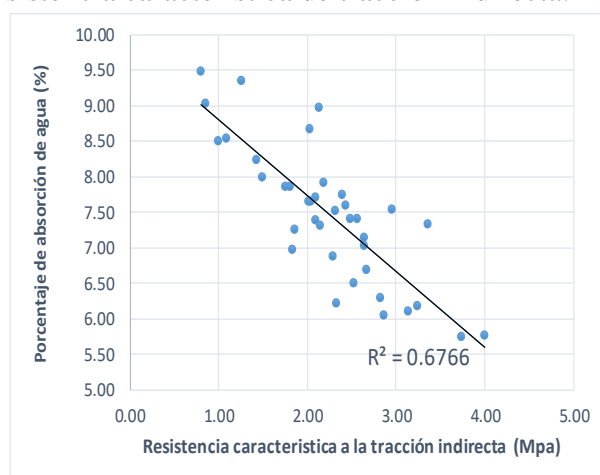


Figura 6. Tendencia lineal: Absorción de agua y Resistencia característica de tracción Indirecta

El Coeficiente de Determinación $R^2 = 0.676$, indica que existe un ajuste al modelo lineal moderado.

3.2. Regresión logarítmica

La tabla 8 presenta los valores del resumen de modelo y estimaciones de parámetro de una regresión logarítmica, teniendo como variable dependiente el porcentaje de absorción de agua (%) y como variable independiente la resistencia característica a la tracción indirecta (Mpa).

Tabla 8. Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

Resumen modelo					Estimaciones de parámetro	
Ecuación	R ²	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1
logarítmica	,665	1	36	,000	9,017	-2,080

La variable independiente es Resistencia Característica a la Tracción Indirecta (Mpa).

La figura 7, muestra la tendencia logarítmica correspondiente a la absorción de agua y la resistencia característica de tracción indirecta.

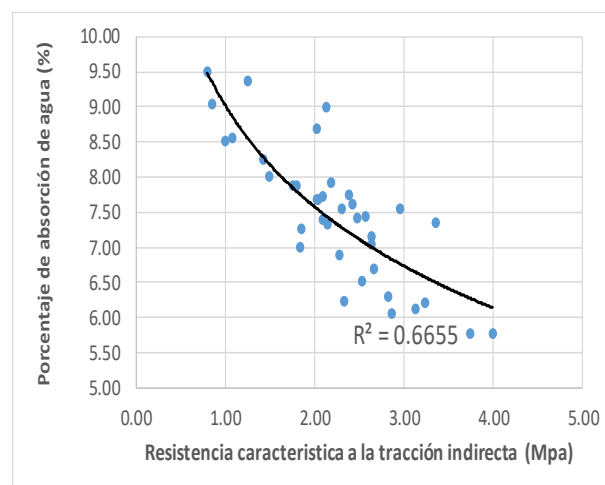


Figura 7. Tendencia logarítmica Absorción de agua y Resistencia característica de tracción Indirecta

El Coeficiente de Determinación $R^2 = 0.665$, indica que existe un ajuste al modelo logarítmico moderado.

Obteniendo el valor del coeficiente de determinación (R^2) y encontrando que el coeficiente de regresión lineal es mayor al coeficiente de regresión logarítmica, las variables se ajustarán a un modelo lineal con un $R^2 = 0.676$.

3.3. Test de Normalidad

La prueba de hipótesis a la Resistencia a la Tracción Indirecta y la Resistencia Climática, nos permite comprobar si el tamaño de muestras es acertado y los resultados con un grado de correlación son veraces.

El método de *Shapiro Wilk* el mismo que es utilizado para una muestra menor a 50 y se ajusta a la presente investigación permite determinar si existe una distribución normal entre los conjuntos de datos de cada una de las variables [4].

Se presenta en la TABLA 9 los valores estadísticos a la Resistencia a la Tracción Indirecta y la curva de normalidad respectiva.

Tabla 9. Datos estadísticos de la Resistencia a la Tracción Indirecta

Resistencia Característica f_k (Mpa)	
Media	2.2458
Error típico	0.1207
Mediana	2.2358
Moda	-
Desviación estándar	0.7440
Varianza de la muestra	0.5536
Curtosis	0.1052
Coefficiente de asimetría	0.0949
Rango	3.1995
Mínimo	0.7974
Máximo	3.9969
Suma	85.3418
Cuenta	38.0000

Los datos obtenidos de la resistencia característica de la tracción indirecta muestran la siguiente distribución normal:

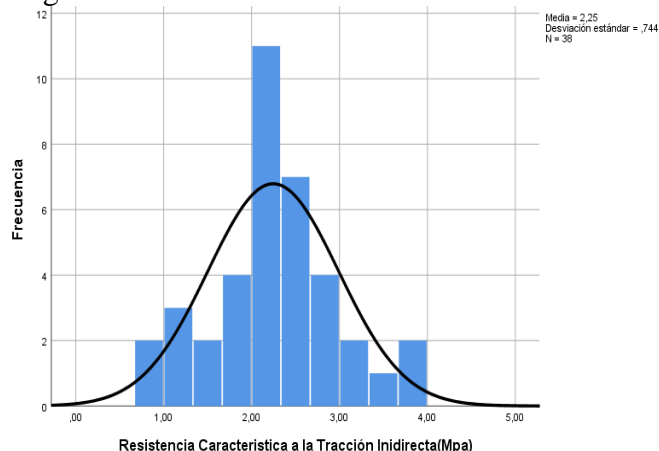


Figura 8. Distribución normal de la resistencia característica de la tracción indirecta, SPSS STADISTIC 25

Se presenta en la TABLA 10 los valores estadísticos a la Resistencia a la Tracción Indirecta y la curva de normalidad respectiva.

Tabla 10. Datos estadísticos de la Resistencia Climática (Absorción de Agua)

Promedio de % absorción $W_{a\text{ prom}}$ (%)	
Media	7.464
Error típico	0.157
Mediana	7.476
Moda	-
Desviación estándar	0.965
Varianza de la muestra	0.932
Curtosis	-0.374
Coefficiente de asimetría	0.151
Rango	3.731
Mínimo	5.755
Máximo	9.486
Suma	283.632
Cuenta	38.000

Los datos obtenidos del porcentaje de absorción de agua muestran la siguiente distribución normal:

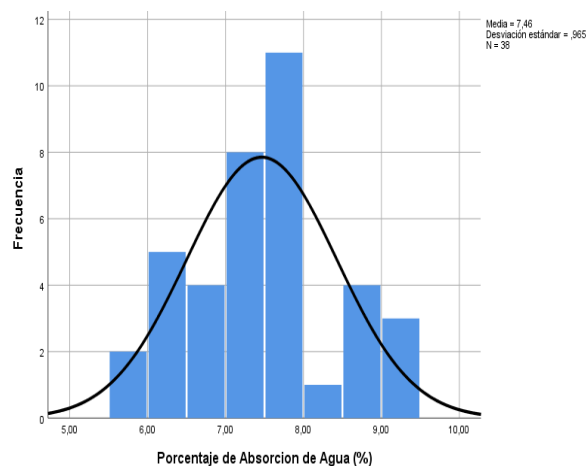


Figura 9. Distribución normal de porcentaje de Absorción de agua SPSS STADISTIC 25

Como se observa en la graficas de curva de normalidad en el caso de los valores de Resistencia a la Tracción Indirecta y de Resistencia Climática (Absorción de Agua), se ajustan a una Distribución Normal.

Para determinar la confiabilidad del tamaño de la muestra se realiza mediante un análisis estadístico determinando el ajuste que tiene la curva de distribución normal y permite retener o

rechazar la hipótesis nula, para esto se necesita que el valor de significancia (p-valor) cumpla con alguna de estas condiciones:

- P-valor > 0,05 retener la hipótesis nula
- P-valor < 0,05 rechazar la hipótesis nula

El valor de 0.05 corresponde al nivel de significancia, para un grado de 95% de confiabilidad de validez de la muestra.

A continuación, la TABLA 11 muestra el test de normalidad de la resistencia característica de la tracción indirecta y resistencia climática correspondiente a las 38 fábricas de la ciudad de Quito.

Tabla 11. Pruebas de normalidad de la Resistencia Característica de la Tracción Indirecta Y Resistencia Climática (Absorción de Agua)

	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk	
	gl	Sig.	gl	Sig.
Resistencia Característica a la Tracción Indirecta (Mpa)	38	,200*	38	,809
Porcentaje de Absorción de Agua (%)	38	,200*	38	,462

Como se observa en la TABLA 12, *Shapiro wilk*, los valores de p-valor de los datos de Resistencia a la Tracción Indirecta y Resistencia Climática permite retener la hipótesis nula, es decir se afirma la confiabilidad del tamaño de la muestra. [4]

Tabla 12III. Prueba de hipótesis y valor de significancia

Hipótesis Nula	Prueba	Valor de Significancia	Decisión
Resistencia a la Tracción Indirecta (Distribución Normal)	Shapiro-Wilk	0,809	Retener la Hipótesis Nula
Resistencia Climática (Distribución Normal)	Shapiro-Wilk	0,462	Retener la Hipótesis Nula

3.4. Correlación entre la Resistencia a la Tracción Indirecta y Resistencia Climática.

El grado de relación entre dos variables se da mediante *el Coeficiente de Correlación de Pearson* (r), dado que al existir una distribución normal y un modelo lineal, se ajusta a esta medida de dependencia lineal entre las dos variables cuantitativas [5].

El Coeficiente de correlación Pearson se determinó a partir del Software SPSS STATISTIC 25 [3], y arrojó los siguientes resultados, descritos en la TABLA 13.

Tabla 13. Correlaciones

		Resistencia Característica a la Tracción Indirecta (Mpa)	Porcentaje de Absorción de Agua (%)
Resistencia Característica a la Tracción Indirecta (Mpa)	Correlación de Pearson	1	-0.822
	Covarianza	0.554	-0.591
	N	38	38
Porcentaje de Absorción de Agua (%)	Correlación de Pearson	-0.822	1
	Covarianza	-0.591	0.932
	N	38	38

Obteniendo como resultado un coeficiente de Correlación de Pearson (r) = -0.822, indicando una correlación negativa alta, es decir que mientras aumenta el valor de una variable, la otra disminuye.

3.5. Valores límites recomendados a partir del grado de confiabilidad

Los valores límites se determina por medio de la ecuación (2):

$$Z = \frac{X \pm u}{\frac{\sigma}{\sqrt{N}}} \quad (2)$$

Donde:

X: Límite superior o inferior

Z: Valor crítico al 95% de nivel de confianza

N: Tamaño de la muestra

u : Media

σ: Desviación estándar

Mediante la distribución normal es posible determinar los límites inferiores y superiores para un grado del 95% de confiabilidad y después de un análisis se optó por el lado izquierdo del promedio de la misma, siendo así el valor límite sugerido igual o menor al 7.8% para el porcentaje de absorción de agua, determinándose que alrededor del 68% de las fábricas representativas de la ciudad de Quito cumplen.

Para el caso de la resistencia a la tracción indirecta se optó por el lado derecho del promedio de la campana de Gauss, recomendando un valor de 2.0 Mpa dando como resultado que el 71% de las fábricas cumplen, en base a la investigación realizada existiría una mayor amplitud con el cumplimiento en comparación a lo recomendado por la INEN 3040 ya que basándose en la norma solo cumplen alrededor del 5% de las fábricas para ambos ensayos (Resistencia a la Tracción Indirecta y Resistencia Climática).

4. Conclusiones

Los adoquines de las 38 fábricas de los distintos sectores de la ciudad de Quito, cumplen en un 55% el valor individual promedio de la resistencia a la tracción indirecta tal como lo indica la INEN 3040, sin embargo, esta señala que la resistencia característica debe ser igual o superior a 3.6 Mpa y al determinar esta propiedad se puede verificar que las muestras no cumplen en un 95%, en cuanto a la resistencia climática la INEN 3040 especifica que el porcentaje de absorción de agua tiene que ser igual o menor al 6%, obteniendo como resultado el incumplimiento de las muestras en un 95%, esto quizá se deba a las características propias de los agregados que cada fábrica utiliza para su elaboración o una falta de control de calidad en el proceso de elaboración de los adoquines.

De acuerdo a los resultados obtenidos se determina que existe una correlación negativa alta del -0.822 lo que nos indica que, al aumento del porcentaje de absorción, existirá una disminución en la Resistencia Característica de la Tracción Indirecta y viceversa, es decir es inversamente proporcional en el grado de 82.2 % de relación.

Aplicando la prueba de hipótesis (Shapiro-Wilk), se puede concluir que los resultados obtenidos en los ensayos de: Resistencia a la Tracción Indirecta y Resistencia Climática empleando 8 y 3 adoquines respectivamente y sujetándose a los procedimientos estipulados en la INEN 3040 vigente, se asemejan a una distribución normal entre los conjuntos de datos de cada una de las variables, determinando así los valores de significancia que permiten retener la hipótesis nula para ambos casos, es decir se afirma la confiabilidad del tamaño de la muestra.

Referencias

- [1] G. G. M. M., «Normas y especificaciones para adoquines de concreto en países latinoamericanos,» *ICPC (Instituto Colombiano de Productores de Cemento)*, Medellín, 2015.
- [2] NTE INEN 3040, «Adoquines de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo,» de *Norma Técnica Ecuatoriana*, 2016.
- [3] Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, *Manual de Diseño de Pavimentos de Adoquin de Hormigón*, Santiago de Chile: Grafico LOM, 2013.
- [4] IBM, *SPSS Statistics 25*, 2019.
- [5] «Técnicas de investigación social,» [En línea]. Disponible en: <https://www.um.es/>.
- [6] F. F. Alemán García y S. F. Cantos Cortez, Evaluación del diseño de pavimentos con adoquines de concreto en las parroquias pertenecientes a la Administración Zonal Quitumbe en el sur de Quito. casos de estudio: calles pertenecientes a las parroquias Chillogallo y la Ecuatoriana., Proyecto de titulación, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2016, p. 6.
- [7] Elaboración de un manual de procesos constructivos del adoquinado, M. I. C. FIERRO, Quito, 2014.
- [8] Guía de instalación de adoquines de concreto, I. (. d. c. y. d. c. Guatemala), Guatemala, 2014.

- [9] L. Hurtado Pardo, Estudio de las propiedades físico – mecánicas de adoquines elaborados con vidrio reciclado para pavimentos de transito ligero, Proyecto de titulación, Universidad Cesar Vallejo, Lima, 2018.
- [10] . C. A. Lasso Molina, W. . I. Proaño Calucho y M. A. Tuglema Mangia, «Correlacion entre las propiedades fisicas y mecanicas de adoquines fabricados a base de lodopapelero y adoquines convencionales segun la norma INEN 3040,» proyecto de titulación, Universidad Central del Ecuador, Quito, 2018.
- [11] C. A. Lasso Molina y A. E. Yugsi Toapanta, Análisis de las propiedades mecánicas de adoquines elaborados con hormigón y polvillo de caucho de neumáticos reciclados y su correlación con adoquines convencionales, Proyecto de titulación, Universidad Central del Ecuador, Quito, 2018.
- [12] I. T. Metropolitano, Adoquines de concreto: Propiedades Físico - Mecánicas y sus correlaciones, Medellín - Colombia: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, 2006.
- [13] Y. Meza Domínguez, Propiedades Físico – Mecánicas de adoquines elaborados con plástico reciclado para pavimento peatonal en el Centro Comercial Tambo Plaza, Lurín - 2017, Lima, 2018.
- [14] J. Quilumba, «Resistencia a la traccion indirecta, Absorcion y desgaste en Adoquines,» Proyecto de titulacion, Universidad de las Fuerzas Armadas del Ecuador, Quito, 2019.
- [15] MOP 001-F, Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes, Quito: Edict of Government, 2003.
- [16] M. D. Frías Domínguez, J. Fernández y C. M. Sordo, *Estadística, modelos de regresión* Disponible en : <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1156/cours>
- [17] P. Aleksander Dietrichson, Métodos cuantitativos, 2019.
- [18] L. Clara, Correlación y regresión lineal. [on line], Disponible en: <https://docplayer.es/21080189-Correlacion-y-regresion-lineal.html>